

# 可控源音频大地电磁法深部找矿实验效果

张国鸿, 李仁和

(安徽省地球物理地球化学勘查技术院, 安徽 合肥 230022)

**摘要:** 为了考查电磁法在探测深部金属矿及地质构造方面的实际效果, 用可控源音频大地电磁法分别在埋深为500 m 和1 100 m 的两个已知隐伏铁、铜矿体上进行了实验工作。实验结果表明地电异常显示了矿体、断层以及岩层接触带的分布。在矿体埋藏深度小于500 m、矿层较厚时, 地电异常十分明显; 若矿体埋藏深度大于1 000 m, 地电异常主要反应了控矿、容矿构造。

**关键词:** 可控源音频大地电磁法; 深部找矿; 金属矿勘查

**中图分类号:** P631

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-8918(2010)01-0066-05

深部找矿是近几年来地勘业一个热门话题, 安徽省在这方面获得了重大突破, 如发现了庐江县泥河铁矿、南陵县姚家岭铜多金属矿等。这些新矿床的发现, 前期物探工作发挥了应有的作用。

地球物理勘探方法众多, 由于金属矿的导电(磁)性好, 与围岩差异明显, 用电磁法勘查金属矿床, 地质效果显著。可控源音频大地电磁法是为了克服天然场源的随机性和信号弱的缺点而提出的一种电磁测深方法<sup>[1]</sup>。自20世纪80年代, 该方法的理论和仪器得到很大发展, 应用领域不断扩大, 特别是大功率发射源的研发, 勘探深度剧增, 使其在深部找矿工作中占领了首要位置。这种方法使用接地导线或不接地回线为场源, 测量相互正交的电、磁场切向分量, 计算波阻抗—卡尼亚电阻率, 并同时获得阻抗相位——电、磁场分量间的相位差。近几年来, 该方法在安徽省深部找矿方面发挥了作用。

## 1 庐江罗河铁矿区

### 1.1 矿区地质

罗河铁矿床位于安徽省庐江县罗昌河东岳庙地区, 矿区地貌为低山丘陵。罗河铁矿是一个完全隐伏在地下、具有大型规模、以铁为主的矿床, 它位于庐枞火山喷发岩区盆状构造的中部偏西, 隐埋于地下400 m 的深处, 矿体呈复杂的似层状赋存于厚度巨大的粗安岩层中, 含矿围岩上部是凝灰岩、含砾凝灰岩、凝灰质粉砂岩, 下部是玄武粗安岩或含黑云母辉石粗安岩(图1a)<sup>[2]</sup>。

罗河铁矿床是由单独的磁铁矿体、黄铁矿体、硬

石膏矿体和黄铜矿体组合而成的复式矿床。各矿体自下而上, 依次为磁铁矿体、黄铜矿体、黄铁矿体和硬石膏矿体。铁矿总体呈似层状、平缓透镜状, 其平面投影呈椭圆形, 剖面上呈拱桥形。

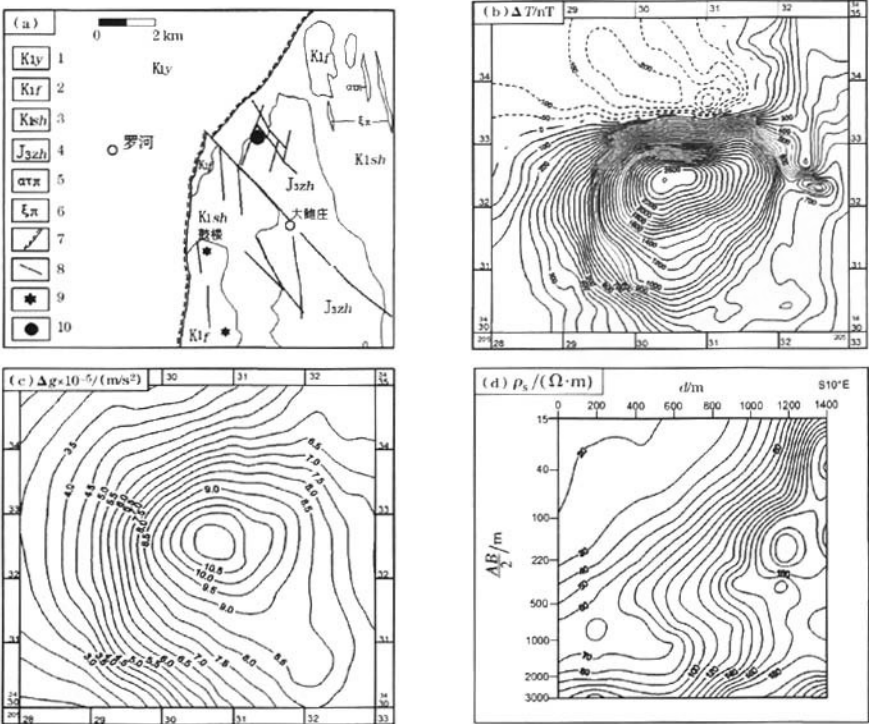
矿区断裂构造较发育, 长达200 m 以上者有38条。依据断裂规模及走向, 顺次分为NNE—NE、NW—NNW、NNW、SN及NEE—EW等5组, 除2条主干断裂切割矿体外, 大多数断裂消失在铁矿体之上。

### 1.2 矿区地球物理特征

罗河铁矿异常源具有明显强磁、高密度、低电阻率的异常特征。

地磁异常(图1b)呈不规则的圆形圈闭, 1 000 nT 的异常面积约4 km<sup>2</sup>, 与铁矿体分布范围吻合。750 nT 的异常轮廓和1 000 nT 的异常轮廓略呈北东延展, 与区域性扭动构造相吻合。1 500~2 500 nT 的异常轮廓则与矿体相吻合, 呈北东东向延伸。异常梯度北陡南缓, 北侧出现较宽的负异常, 南侧为平缓磁场, 这一平缓规则异常为深隐伏磁性体的反映。根据磁测资料的定量计算, 得出深部磁性体的总磁化强度为 $35\,000 \times 10^{-3} \text{ A/m}$ 。本区火山岩除辉石粗安岩磁性略高外, 其他岩石磁性很弱, 因而该异常应为磁铁矿引起。

罗河重力异常表现为叠加在区域背景上的局部异常(图1c), 形态近等轴状, 极值达 $11 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 以上。 $9 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 等值线圈闭的面积达3.3 km<sup>2</sup>,  $11 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 等值线圈闭的面积达10 560 m<sup>2</sup>。后



1—下白垩统杨湾组;2—早白垩统浮山组;3—早白垩统双庙组;4—早白垩统砖桥组;5—辉石粗安斑岩;6—正长斑岩;7—不整合界线;8—实测断层;9—火山口;10—罗河矿床;a—地质略图;b—地磁异常;c—重力异常;d— $\rho_s$ 断面

图1 罗河铁矿区域地质略图及物探工作结果

者长轴近东西向,面积和形态均与 2 500 nT 的磁异常轮廓相仿,但两者异常中心稍有偏移,重合面积仅约一半。区内岩石密度测定工作结果表明,局部重力异常是深部高密度地质体的反映。

根据磁、重异常分析,深部有高磁性、高密度的地质体。此后在异常区进行了垂向电测深测量,测量结果显示,在磁法推断磁性体的埋藏深度上有一个低阻带,它使  $\rho_s$  等值线在  $AB/2$  为 1 000 ~ 1 500 m 处发生弯曲,形成低阻畸变(图 1d)。

1.3 实验结果

选择地质勘探线纵 IV 号线作实验剖面。测点距为 50 m,接收极距  $MN=50$  m,发射偶极距  $AB=1\ 040$  m,收发距  $R=7\ 000$  m,发射频段 0.5 ~ 8 192 Hz。

图 2 是采用 6 个电道和 1 个磁道,且将磁性探头置于电排列的中部,来采集可控源场的水平电场  $E_x$  和水平磁场  $H_y$  分量数据,各频点的数据经平均和静校正后,通过二维反演获得的电阻率断面。图中电性变化在垂向分布上显示出 KHKH 型,尤其在

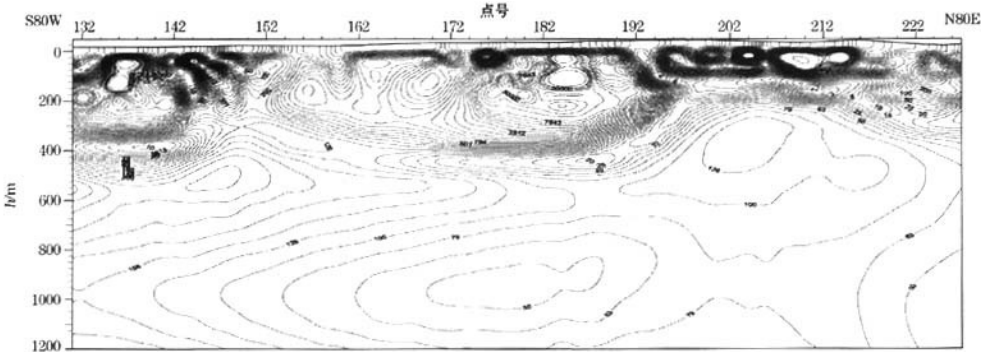


图2 罗河铁矿 IV 号线 CSAMT 卡尼亚电阻率二维反演断面

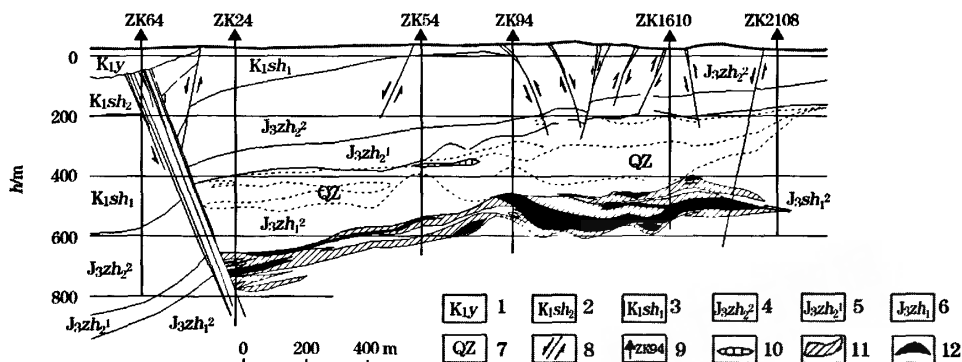


图3 罗河铁矿区IV号线地质剖面

深部出现了一层由北东向北西缓倾的低阻层。低→高→低→高→低→高的垂向电性变化特征与地质剖面(图3)和钻孔资料对比,分别对应于浮土(低阻)、安山岩(高阻)、凝灰岩(低阻)、硅质岩(高阻)、铁矿体(低阻)、蚀变安山岩(高阻)。不尽人意的是,二维反演结果的深部低阻层,其埋藏深度大于矿层的实际深度(约200 m)。

电阻率断面在横向上存在多处电性梯度带,如图2的142、152、172、192点附近。对比地质剖面,横向的电性梯度带与浅部多处断层相对应。

## 2 长龙山铜矿

## 2.1 矿区地质

长龙山铜矿在安徽省铜陵市狮子山矿区,位于铜陵市东偏南约 7 km,是近年安徽省地质勘查局发现的一个新矿点。在构造地质上位于繁昌—铜陵复向斜中的青山背斜北段。矿区内除第四系覆盖外,部分出露有三叠系中、下统地层。深部工程揭露的地层有二叠系、石炭系、泥盆系上统等(图 4)。

泥盆系上统:五通组为石英长石砂岩,粉砂页岩,变质后为石英岩、角岩化粉砂质页岩。石炭系:黄龙—船山组为灰岩或大理岩。二叠系:栖霞组为灰岩或大理岩;孤峰组为灰黄、紫灰色钙质、硅质页岩及含锰页岩;龙潭组为黑色炭质页岩、夹含黄铁矿结核黏土质页岩;大隆组为黑色硅质页岩。三叠系:小凉亭组、塔山组为角岩;南陵湖组为灰岩或大理岩。第四系:为残积、坡积冲积层,分布于山间沟谷洼地及山坡,岩性主要为黏土夹碎石、亚黏土等。

区内岩浆岩比较发育,以中酸性小型岩体及浅成岩脉为主。矿床生成与岩浆活动紧密相关,在岩浆岩与钙质岩类接触部位往往出现矽卡岩化,矿体赋存在矽卡岩内。长龙山铜矿体严格受容矿层位岩

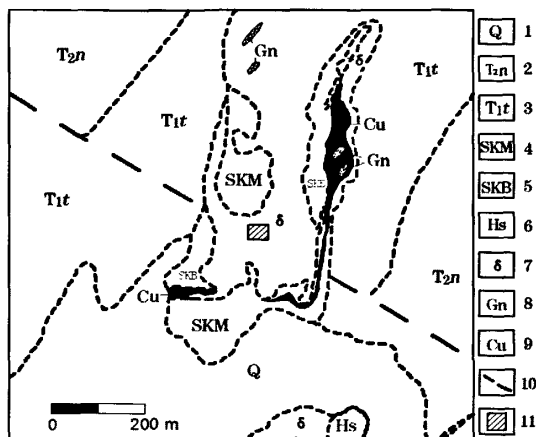


图4 长龙山铜矿区域地质略图

1—第四系;2—三叠系南陵湖组;3—三叠系塔山组;4—块状砂卡岩;5—层状砂卡岩;6—角岩;7—闪长岩;8—铁帽;9—铜矿化露头;10—推测断层;11—实验工作区位置

性控制,属层控砂卡岩型铜矿床。矿床金属矿物主要有磁黄铁矿、黄铁矿、黄铜矿和磁铁矿等;矿石类型复杂,以含铜磁黄铁矿矿石为主,其次是含铜砂卡岩、含铜黄铁矿矿石等。

## 2.2 矿区地球物理特征<sup>[3]</sup>

1: 1 万和 1: 2 万高精度重、磁测量均已覆盖了矿区。重磁测量结果(图 5)表明:大量侵入的闪长岩是引起磁异常的主要原因,含铜磁铁矿磁性最强;大量分布的砂卡岩是形成重力异常的主要因素,含铜磁铁矿密度最高,它能产生重磁同高异常。

铜矿区的地层岩石除二叠系地层外,具有高电阻低极化特征,其电阻率平均值在  $1\,000\ \Omega \cdot \text{m}$  以上,极化率为  $2\% \sim 3\%$ 。二叠系大隆组及孤峰组电阻率为几十到几百  $\Omega \cdot \text{m}$ ,极化率大于  $40\%$ 。侵入岩(闪长岩类)为中等电阻率,多为几百  $\Omega \cdot \text{m}$ ,极化率为  $2\% \sim 4\%$ 。矿体电性随矿化性质及矿化程度

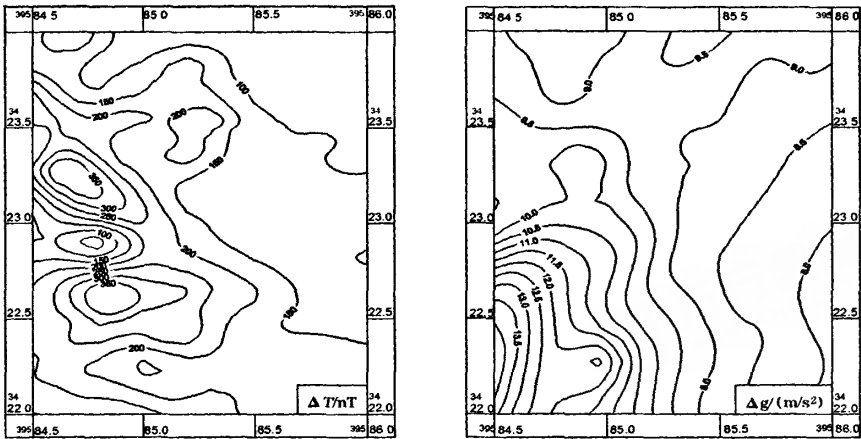


图5 长龙山铜矿区地磁  $\Delta T$  异常(左)和重力  $\Delta g$  布格异常(右)

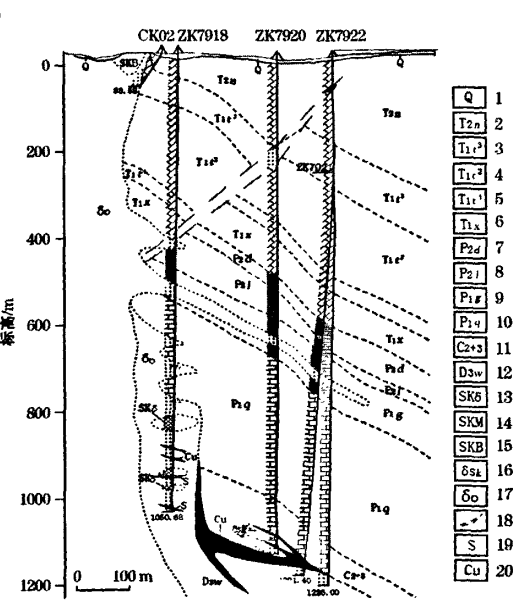
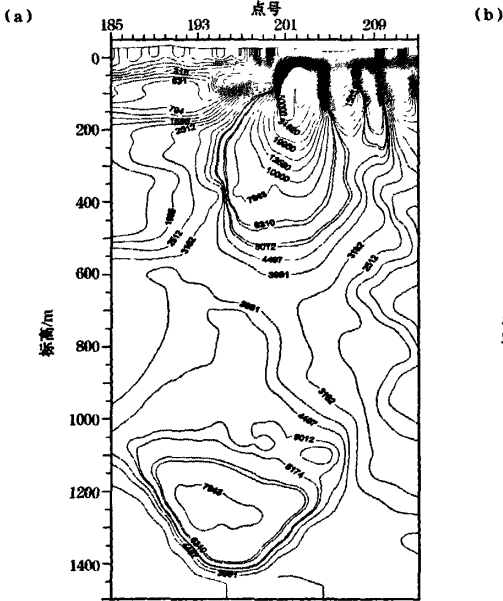
而异,主要表现为低电阻率极高极化率特征,电阻率值小于  $100 \Omega \cdot m$ ,极化率大于 60%。以上岩、矿石电性特征表明,矿石与大多数岩石存在较大的电性差异,这为电磁法找矿提供了物性前提。

2.3 实验结果

实验工作布置在长龙山铜矿 79 号地质勘探线上,实验工作剖面穿过长龙山铜矿的见矿孔(ZK7921),剖面方位角  $S40^\circ E$ ,与地质勘探线方向基本一致。可控音频大地电磁法测量参数:发射电偶极距  $AB = 990m$ ,接收电偶极距  $MN = 50m$ ,

收发距  $R = 6950m$ ,点距  $50m$ ,测量频率范围  $1 \sim 8\ 192\ Hz$ 。

图 6a 为长龙山铜矿 79 线深部找矿实验结果的 CSAMT 法二维反演电阻率断面。由图可见,在 198 ~ 206 点部位,标高在 1 080 ~ 1 130 m(埋深约 1 100 ~ 1 150 m)处,电阻率为  $5\ 012 \Omega \cdot m$  的等值线发生了弯曲,与 ZK7920 和 ZK7921 见矿的矿体相对应;在其上部和南东侧,电阻率等值线呈陡立扭曲走势,与地质剖面(图 6b)上石炭系钙质岩类(灰岩、大理岩)顶板界面起伏状况十分吻合;其下部的高阻区



1—第四系;2—三叠系南陵湖组;3—三叠系塔山组上段;4—三叠系塔山组中段;5—三叠系塔山组下段;6—三叠系小凉亭组;7—二叠系上统大隆组;8—二叠系上统龙潭组;9—二叠系下统孤峰组;10—二叠系下统栖霞组;11—石炭系上统黄龙、船山组;12—泥盆系上统五通组;13—内砂卡岩;14—块状砂卡岩;15—层状砂卡岩;16—砂卡岩化闪长岩;17—石英化闪长岩;18—推测断层;19—硫铁矿体;20—铜矿体

图6 长龙山铜矿 79 线 CSAMT 卡尼亚电阻率二维反演断面(a)及地质剖面(b)



应是泥盆系上统的五通组石英长石砂岩的反应。因此,可控源电阻率二维反演断面充分揭示了长龙山 I 号铜矿体受容矿层位岩性控制,属接触带砂卡岩型铜矿。

### 3 体会

用可控源音频大地电磁法在 2 个已知深埋的铁、铜矿体上的实验结果表明,该方法在探测深部金属矿方面有好的效果,地电异常明显,异常特征(形态、范围)与矿体对应很好。当矿体埋藏深度不大(小于 500 m),矿层较厚时,地电异常十分明显,能

起到直接找矿的作用;若矿体埋藏深(大于 1 km)且为接触带型脉状矿体时,地电异常主要反应了控矿、容矿构造,可起到间接找矿的作用。

### 参考文献:

- [1] 汤井田,何继善.可控源音频大地电磁法及其应用[M].长沙:中南大学出版社,2005.
- [2] 黄清涛,尹恭沛.安徽省庐江罗河铁矿[M].北京:地质出版社,1989.
- [3] 安徽省地质矿产局物探队.安徽省狮子山地区高精度重磁测量报告[R].1986.

## THE TEST RESULT OF THE CONTROLLED SOURCE AUDIO-FREQUENCY MAGNETOTELLURIC METHOD IN THE PROSPECTING FOR DEEP ORE DEPOSITS

ZHANG Guo-hong, LI Ren-he

(Institute of Geophysical and Geochemical Prospecting Technology of Anhui Province, Hefei 230022, China)

**Abstract:** To examine the actual result of the electric-magnetic method in detecting deep metallic ore deposits and structures, the authors conducted two tests in two known buried iron and copper ore deposits by using Controlled Source Audio-frequency Magnetotelluric Method (CSAMT). The two known ore bodies have the buried depths of about 500 m and 1 100 m, respectively. The results of the tests show that the geoelectrical anomalies can indicate the distribution of ore bodies, faults and lithologic contact zones. When the buried depth of the ore body is less than 500 m and the ore bed is relatively thick, the geoelectrical anomaly is very obvious. When the buried depth of the ore body is more than 1 000 m, the geoelectrical anomaly mainly reflects the ore-controlling and ore-hosting structure.

**Key words:** Controlled Source Audio-frequency Magnetotelluric Method (CSAMT); deep ore prospecting; metallic ore exploration

作者简介: 张国鸿(1956-),男,安徽合肥人,物探高级工程师,1982年毕业于合肥工业大学物探专业,获学士学位,现主要从事地球物理勘探、方法研究工作。

上接 65 页

## THE COLLECTION AND APPLICATION OF SOIL GAS HYDROCARBON IN OIL AND GAS EXPLORATION

REN Chun, SUN Chang-qing, TANG Yu-ping, LI Ji-peng

(Wuxi Institute of Petroleum Geology, Academy of Petroleum Exploration and Development, China Petroleum and Chemical Industry Co. Ltd., Wuxi 214151, China)

**Abstract:** Gas geochemistry has been widely used in search for ore deposits and concealed faults. The collection of qualified soil gas samples suitable for different soil conditions constitutes one of the key factors for the success of the gas geochemical method. Every soil gas collector used in China and abroad can only be suitable for a specific soil environment. Effective methods are lacking for wet clay and soil layers likely to accumulate water. The "soil gas collection twist drill" invented by the authors can solve this problem. With this drill, we can easily collect qualified soil gas samples. Case studies over different types of oil and gas accumulations show that the utilization of soil gas to hydrocarbon analysis can effectively predict underlying oil and gas accumulations.

**Key words:** soil gas; gas geochemistry; oil and gas geochemical exploration; gas collection; soil gas collection twist drill

作者简介: 任春(1956-),男,高级工程师,长期从事油气地球化学理论研究和勘探工作。